

## **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 05-326409

(43)Date of publication of application : 10.12.1993

---

(51)Int.Cl. H01L 21/205

---

(21)Application number : 04-132438 (71)Applicant : SHIMADZU CORP

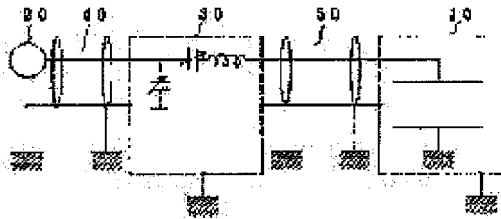
(22)Date of filing : 25.05.1992 (72)Inventor : OZAKI JUNICHIRO

---

(54) FILM-FORMATION APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To supply electric power to a



plasma device with good efficiency by  
reducing a loss in electric power in a  
matching circuit for a plasma film- formation  
apparatus.

CONSTITUTION: A film-formation

apparatus is composed of the following: a

high-frequency power supply 20 which supplies high-frequency electric power; a  
plasma generation device 10; and a matching circuit 30 which is provided  
between the high-frequency power supply 20 and the plasma generation device  
10. In the film-formation apparatus, a coaxial line 50 whose length can increase  
the resistance component of an input impedance on the side of the plasma  
generation device 10 as viewed from the matching circuit 30 is connected  
between the matching circuit 30 and the plasma generation device 10.

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] (a) the RF generator which supplies high-frequency power, (b) plasma generator, and (c) -- the membrane-formation equipment which consists of a matching circuit prepared between said RF generators and said plasma generators -- setting -- (d) -- the membrane-formation equipment characterized by to connect the coaxial track of the die length which increases a resisted part of the input impedance by the side of said plasma generator seen from said matching circuit between said matching circuits and said plasma generators.

#### DETAILED DESCRIPTION

---

##### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the membrane formation equipment which has a matching circuit for supplying high-frequency power to the plasma generator which is a membrane formation means in plasma membrane formation equipment etc. efficiently from an RF generator.

[0002]

[Description of the Prior Art] the plasma generator which is a membrane

formation means in the plasma membrane formation equipment from the former and an RF generator etc. -- high-frequency power -- supplying -- for -- an RF generator and a plasma generator -- it is carrying out through the matching circuit in between. Drawing 7 is the supply circuit diagram of the high-frequency power to conventional plasma membrane formation equipment.

[0003] For 10, as for an RF generator and 30, in drawing, a plasma generator and 20 are [ a matching circuit and 40 ] coaxial tracks. The value of the characteristic impedance of said coaxial track 40 is connected to the matching circuit 30, setting it as the same magnitude as the output-impedance value of RF generator 20, and taking adjustment with this RF generator 20. Furthermore, said matching circuit 30 is connected with the plasma generator 10.

[0004] The high-frequency power from RF generator 20 is supplied to a plasma generator through a coaxial track 40 and a matching circuit 30 by the aforementioned configuration.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, there are the following troubles in said conventional plasma membrane formation equipment. Since the resistance component of a plasma generator is generally the low resistance

value of about several ohms, in supply of the high-frequency power by equipment, a high current flows on each component and line in a matching circuit 30 at the time of adjustment conventionally [ said ]. Therefore, the Joule's heat occurs by the resistance component of each component of a matching circuit 30, and the resistance component which a line has. The Joule's heat generated by this resistance component is the amount which cannot be disregarded from RF generator 20 to the power which should be supplied to the plasma generator 10, and it will be consumed vainly, without being used in the plasma generator 10.

[0006] The power consumption in the aforementioned matching circuit 30 is explained. Drawing 8 is the conventional plasma generator and the representative circuit schematic of a matching circuit, and drawing 9 is the schematic diagram of a plasma generator. drawing 9 -- setting -- 11 -- a chamber and 12 -- a substrate electrode and 13 -- the plasma and 14 -- an RF electrode and 15 -- stray capacity and 16 -- plasma capacity and 17 -- plasma resistance -- it is -- a plasma generator -- a resisted part  $R_L$  A part for Reactance  $X_L$  It is expressed equivalent as an impedance. Moreover, in drawing 8 ,  $Z_L (=R_L+jX_L)$  is the impedance of the plasma generator 10, and  $r$  is the sum total of the

component of a matching circuit 30, and the resistance of a line 40. Said impedance  $Z_L$ . It is the synthetic value of the impedance of the plasma itself, and the stray capacity which the plasma generator 10 has. Generally it is an impedance  $Z_L$ . Real part  $R_L$  A resistance component is about several ohms in low resistance value, and is an impedance  $Z_L$ . Imaginary part  $X_L$  It becomes a negative value and is a capacitive reactance.

[0007] In the aforementioned equal circuit, when high-frequency power  $P$  is supplied from RF generator 20 in an adjustment condition, since the resistance component of the impedance of the plasma generator 10 is the low resistance value of about several ohms, a high current flows. It is expressed with  $P \cdot r / (r + R_L)$  and the power consumption in the matching circuit at this time is the resistance component  $R_L$  of the impedance of the plasma generator 10. It is emitted as heat in the power  $P$  supplied, so that the value was small, and the amount of power loss becomes large.

[0008] This invention reduces the power loss in the matching circuit of said conventional plasma membrane formation equipment, and aims at carrying out an electric power supply efficiently to plasma equipment.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The RF generator which adds a coaxial track and supplies high-frequency power between the plasma generator of equipment, and a matching circuit conventionally in order that this invention may conquer the above-mentioned trouble, In the membrane formation equipment which consists of a matching circuit prepared between a plasma generator, and said RF generator and said plasma generator The coaxial track of the die length which increases a resisted part of the input impedance by the side of said plasma generator seen from said matching circuit between said matching circuits and said plasma generators is connected.

[0010]

[Function] According to this invention, only by connecting a coaxial track, the power loss in the matching circuit of conventional plasma membrane formation equipment can be reduced between a matching circuit and a plasma generator, and an electric power supply can be efficiently carried out to it to a plasma generator.

[0011]

[Example] Hereafter, it explains to a detail, referring to drawing about the example of this invention. Drawing 1 is the supply circuit diagram of the

high-frequency power to the plasma generator concerning the example of this invention, and drawing 2 is the representative circuit schematic of the supply circuit diagram of the high-frequency power to the plasma generator concerning the example of this invention.

[0012] For a plasma generator and 20, as for a matching circuit and 40, in drawing, an RF generator and 30 are [ 10 / a coaxial track and 50 ] coaxial tracks. Said plasma generator 10, RF generator 20, the matching circuit 30, and the coaxial track 40 are the same as the supply circuit of the high-frequency power to the conventional plasma generator 10, and the value of the characteristic impedance of said coaxial track 40 is set as the same magnitude as the output-impedance value of RF generator 20, and is connected to the matching circuit 30. Furthermore, said matching circuit 30 is connected with the plasma generator 10.

[0013] The supply circuit of the high-frequency power to the plasma generator of the membrane formation equipment of this invention connects a coaxial track 50 between the plasma generator 10 and a matching circuit 30 in said conventional supply circuit. Here, a characteristic impedance is said coaxial track 50  $Z_0$  It carries out and the line length  $l$  is set to  $k$  times as much  $k\lambda$  as the



wavelength  $\lambda$  of RF generator 20. Moreover, suppose that the case of the former which does not insert a coaxial track 50 is expressed with Index L, and the case of this invention which inserts a coaxial track 50 is expressed with Index LK.

[0014] It sets to drawing 2 and, for an impedance ZLK, the aforementioned characteristic impedance is Z0. It is the impedance seen from the matching circuit 30 when inserting the coaxial track 50 of the line length l between the plasma generator 10 and a matching circuit 30, and is expressed with ZLK ( $RLK + jXLK$ ). Moreover, impedance ZL It is the synthetic value of the impedance of the plasma itself, and the stray capacity which the plasma generator 10 has. Generally it is the real part RL of an impedance ZL. A resistance component is about several ohms in low resistance value, and is an impedance ZL. Imaginary part XL It becomes a negative value and is a capacitive reactance.

[0015] Here, the impedance when seeing the plasma generator 10 side from a matching circuit 30 is compared in the supply circuit of the high-frequency power to the plasma generator of the membrane formation equipment of this invention, and the supply circuit of the high-frequency power to the conventional plasma

generator. Drawing 3 is comparison drawing of the input impedance by the side of a plasma generator. the part which a load is the plasma generator 10 and was divided with the broken line in drawing -- a characteristic impedance --  $Z_0$  It is the coaxial track 50 which makes  $k$  times [ when considering as the wavelength  $\lambda$  of RF generator 20 ] as many  $k$  [ as this ]  $\lambda$  the line length  $l$ . the input impedance which the input impedance seen from the matching circuit 30 of the plasma generator of the membrane formation equipment of this invention is  $Z_{LK}$ , and was seen from the matching circuit 30 of the conventional plasma generator --  $Z_L$  it is .

[0016] Next, drawing 2 explains the power consumption in the matching circuit 30 by the supply circuit of the high-frequency power to the plasma generator of the membrane formation equipment of said this invention. In the equal circuit of drawing 2 , it is the impedance  $Z_{LK} (R_{LK} + jX_{LK})$  seen from the matching circuit 30, and  $r$  is the sum total of the component of a matching circuit 30, and the resistance of a line 40.

[0017] In the aforementioned equal circuit, when high-frequency power  $P$  is supplied from RF generator 20 in an adjustment condition, the power consumption by a total of  $r$  of the component of a matching circuit and the

resistance of a line 40 is expressed with  $P.r/(r+RLK)$ . It depends for said power consumption on a resisted part RLK of the impedance ZLK seen from a total of  $r$  and matching circuit 30 of the component of a matching circuit, and the resistance of a line 40.

[0018] A plasma generator and a coaxial track 50 determine a resisted part RLK of the impedance ZLK seen from the matching circuit 30 to a total of  $r$  values of the component of said matching circuit and the resistance of a line 40 becoming settled by this component. Then, it is the impedance ZL of the conventional plasma generator about a resisted part RLK of the impedance ZLK seen from the matching circuit 30 by said coaxial track 50 in the supply circuit of the high-frequency power to the plasma generator of the membrane formation equipment of this invention. A resisted part RL The amount of the power disappearance in a matching circuit 30 is made small by enlarging.

[0019] Next, it is the impedance ZL of the conventional plasma generator about a resisted part RLK of the impedance ZLK seen from said matching circuit 30. A resisted part RL The conditions of the coaxial track 50 for enlarging are explained. Load ZL which is the impedance of introduction and a plasma generator This load ZL A characteristic impedance is  $Z_0$ . Relation with the

impedance  $Z_{LK}$  seen from the matching circuit 30 when the line length  $l$  connects a coaxial track  $k$  times the die length of the wavelength  $\lambda$  of a power source which is  $k\lambda$  is explained.

[0020] Drawing 4 is the Smith chart of complex impedance. Said impedance  $Z_L$ . And generally  $Z_{LK}$  is treated as complex impedance. First, the general relation of complex impedance is explained in drawing. Complex impedance  $Z_L$   $Z_{LK}$  Relation is given by the degree type (1).

$$Z_{LK} = Z_0 \{Z_L + jZ_0 \tan(2\pi k)\} / \{Z_0 + jZ_L \tan(2\pi k)\} \quad -- (1)$$

Moreover, the reflection coefficient  $\gamma$  ( $U + jV$ ) which is an amount corresponding to complex impedance  $Z$  ( $R + jX$ ) and one to one is given by the degree type (2).

[0021]

$$\gamma_L = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0) \quad -- (2)$$

Here, if said reflection coefficient  $\gamma$  expresses the relation between the index  $L$  in the former which does not insert a coaxial track 50, and the index  $LK$  in the case of this invention which inserts a coaxial track 50, it will become a degree type (3) by an aforementioned formula (1) and an aforementioned formula (2).

$$\gamma_{LK} = \gamma_L \exp(-j4\pi k) \quad (3)$$

There is relation of the following formulas (4) and (5) so that clearly from said formula (3).

[0022]

$$|\gamma_{LK}| = |\gamma_L| \quad (4)$$

$$\arg \gamma_{LK} = \arg \gamma_L - 4\pi k \quad (5)$$

Drawing 4 is the Smith chart which plotted the relation of the aforementioned formula (4) and (5). drawing -- setting -- reflection coefficient  $\gamma_L$  UV coordinate top -- distance  $|\gamma_L|$  from a core --  $|(Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)|$  -- it is -- include angle  $\arg \gamma_L$  as the location of  $\arg \{(Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)\}$  -- a table -- last \*\* on the other hand -- reflection coefficient  $\gamma_{LK}$  -- UV coordinate top -- distance  $|\gamma_{LK}|$  from a core --  $|\gamma_L|$  -- the same -- an include angle  $\arg \gamma_{LK}$  -- include angle  $\arg \gamma_L$  from -- it is in one  $4k$  times the location of  $\pi$  which returned  $4\pi k$  radians.

[0023] Moreover, complex impedance  $Z_L$  RL which is a resistance component If a fixed locus is expressed on the Smith chart of UV coordinate, it will be given by the degree type (6).

$$[U - \{RL / (RL + Z_0)\}]^2 + V^2 = \{Z_0 / (RL + Z_0)\}^2 \quad (6)$$

Drawing 5 is a Smith chart with a fixed resisted part.

[0024] drawing -- setting -- the inside of the locus of a formula (6) -- setting --  $R > R_L$  it is -- on the other hand -- the outside of the locus of a formula (6) -- setting --  $R < R_L$  it is . Said complex impedance  $Z_L$   $R_L$  which is a resistance component Generally it becomes settled with the plasma generator 10, and if magnitude, a configuration, etc. of the plasma generator 10 do not change, suppose that it is almost fixed. Therefore,  $R_L$  in drawing 5 The point on a fixed locus is the impedance  $Z_L$  of the plasma generator 10. A resistance component is the same and it differs for a reactance.

[0025] Moreover, the resistance component of the impedance seen from the matching circuit 30 in drawing is  $R_L$ . For power consumption [ in / on the range which becomes small, and / said matching circuit 30 ], the resistance component of an impedance is  $R_L$ . As compared with a thing, it becomes large. On the other hand, it is the resistance component  $R_L$ . For power consumption [ in / on the range which becomes large, and / said matching circuit 30 ], the resistance component of an impedance is  $R_L$ . As compared with a thing, it becomes small.

[0026] resistance component  $R_L$  of the impedance seen from said matching circuit 30 in the supply circuit of the high-frequency power to the plasma

generator of the membrane formation equipment of this invention It is the thing [ like ] which becomes large and which is alike and connects a coaxial track 50 between a matching circuit 30 and the plasma generator 10. Next, impedance ZL in case the resistance component RLK of the impedance ZLK when connecting said coaxial track 50 does not connect a coaxial track 50 Resistance component RL The range of k in the case of becoming large is explained.

[0027] It can ask for the range of said k by said formula (4), (5) and (6), or drawing 6 . Drawing 6 is related drawing of the resistance component of the impedance concerning a difference of connection of a coaxial track 50. It sets to drawing and is an impedance ZL. Resistance component RL Fixed Locus a and a fixed impedance ZL The locus b of the impedance ZLK when connecting the coaxial track which has wavelength k times the die length of lambda crosses in Point A and Point B. Here, the resistance component RLK of an impedance ZLK is an impedance ZL. Resistance component RL The range which becomes large is drawing 5 to the impedance ZL. Resistance component RL Since it is the inside of the fixed locus a, it becomes the part of the thick wire of drawing.

[0028] It will become the following formulas if the aforementioned relation is expressed with a formula.

$RLK \geq RL$  it is -- range of  $k$ :  $1/2 \geq k \geq 1/2 - |\arg\gamma_L|/2\pi$  (in the case of  $XL < 0$ )

$|\arg\gamma_L|/2\pi \geq k \geq 0$  (in the case of  $XL \geq 0$ )

-- (7)

Here, it is said  $\arg\gamma_L$ . It is given by the degree type from a formula (2).

[0029]

$\arg\gamma_L = \arctan \{2Z_0 XL / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\}$  ( $|Z_L| > Z_0$  in the case of  $Z_0$ )

$\arg\gamma_L = \arctan \{2Z_0 XL / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\} - \pi$  (in the case of  $|Z_L| < Z_0$  and  $XL < 0$ )

$\arg\gamma_L = \arctan \{2Z_0 XL / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\} + \pi$  (in the case of  $|Z_L| < Z_0$  and  $XL > 0$ )

-- (8)

Therefore, impedance  $Z_L$  of a plasma generator For line length, a characteristic impedance is  $Z_0$  at  $k$  times of wavelength  $\lambda$  to this impedance  $Z_L$ . It sets to the impedance  $Z_{LK}$  at the time of connecting a coaxial track 50, and a resisted part  $RLK$  of an impedance  $Z_{LK}$  is an impedance  $Z_L$ . The range of  $k$  used as the resistance part  $R$  is appointed by said formula (7).

[0030] Since said  $k$  \*\* the line length  $l$  of a coaxial track 50 on wavelength



$\lambda$ , when using the same plasma generator 10, the power consumption in a matching circuit 30 can be decreased by changing the line length  $l$  of a coaxial track 50 according to the wavelength of a power source. Next, a numeric comparison concrete about an example of a plasma generator is performed.

[0031] Let the various numeric values of a plasma generator be the following.

The impedance of the plasma generator 10: Resistance of  $R_L = 2\text{ohm}$  and the  $X_L = -10\text{-ohm}$  matching circuit 30 : Characteristic impedance of the  $r = 1\text{-ohm}$  coaxial track 50 :  $Z_0 = 50\text{-ohm}$  wavelength (frequency) :  $\lambda = 3\text{m}$  ( $f = 100\text{MHz}$ )

said formula (7) and a formula (8) to  $R_L \leq R_K$  it is -- the range of  $k$  is  $0.063 \leq k \leq 0.5$ . Here, as a value of  $k$  if 0.1875 of said within the limits, the line length  $l$  of a coaxial track will be set to 0.5625m.

[0032] An impedance  $Z_{LK}$  is set to  $R_L = 6.185\text{ohm}$   $X_{LK} = +74.258\text{ohm}$  by assigning said value to a formula (1). Therefore, the power loss ratio  $(r + R_L) / (r + R_{LK})$  in a matching circuit 30 are set to  $(1 + 2) / (1 + 6.185) = 0.42$ . This value shows that the power loss in a matching circuit 30 can be reduced to 42% of the conventional plasma generator in the membrane formation equipment of this invention.

[0033] In addition, this invention is not limited to the above-mentioned example,

and based on the meaning of this invention, various deformation is possible for it and it does not eliminate them from the range of this invention.

[0034]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, the following effectiveness can be done so by connecting a coaxial track between a matching circuit and a plasma generator.

(1) The power loss in the matching circuit of conventional plasma membrane formation equipment can be reduced.

(2) Therefore, an electric power supply can be efficiently carried out to a plasma generator.

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is supply circuit drawing of the high-frequency power to the plasma generator concerning the example of this invention.

[Drawing 2] It is the representative circuit schematic of supply circuit drawing of the high-frequency power to the plasma generator concerning the example of

this invention.

[Drawing 3] It is comparison drawing of the input impedance by the side of a plasma generator.

[Drawing 4] It is the Smith chart of complex impedance.

[Drawing 5] A resisted part is a fixed Smith chart.

[Drawing 6] It is related drawing of the resistance component of the impedance concerning a difference of connection of a coaxial track 50.

[Drawing 7] It is supply circuit drawing of the high-frequency power to conventional plasma membrane formation equipment.

[Drawing 8] They are the conventional plasma generator and the representative circuit schematic of a matching circuit.

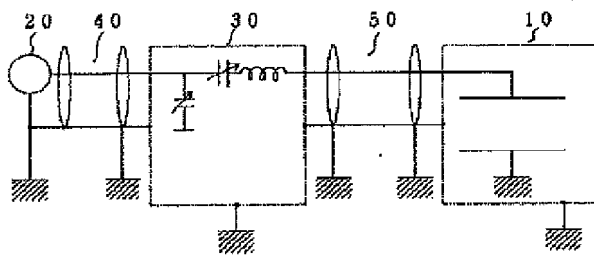
[Drawing 9] It is the schematic diagram of a plasma generator.

[Description of Notations]

10 [ -- The plasma, 14 / -- An RF electrode, 15 / -- Stray capacity, 16 / -- Plasma capacity, 17 / -- Plasma resistance, 20 / -- An RF generator, 30 / -- 40 A matching circuit, 50 / -- Coaxial track ] -- A plasma generator, 11 -- A chamber, 12 -- A substrate electrode, 13

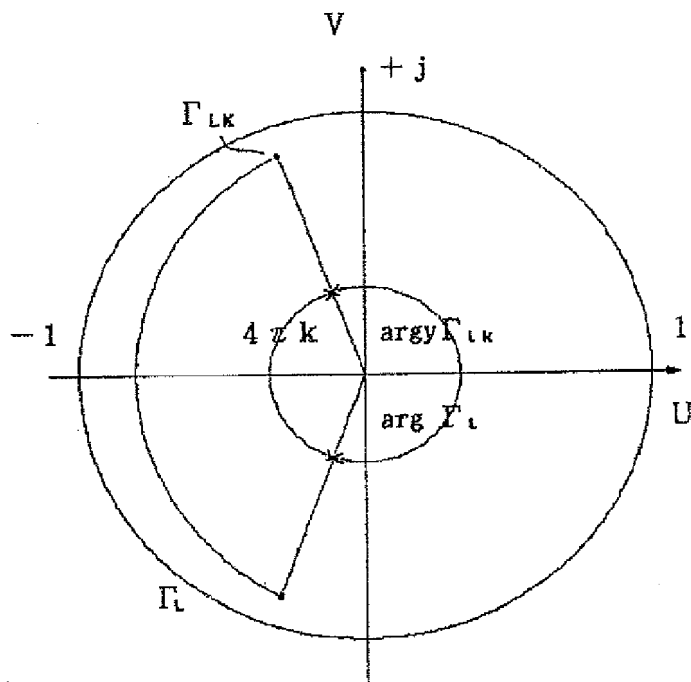
## DRAWINGS

[Drawing 1]

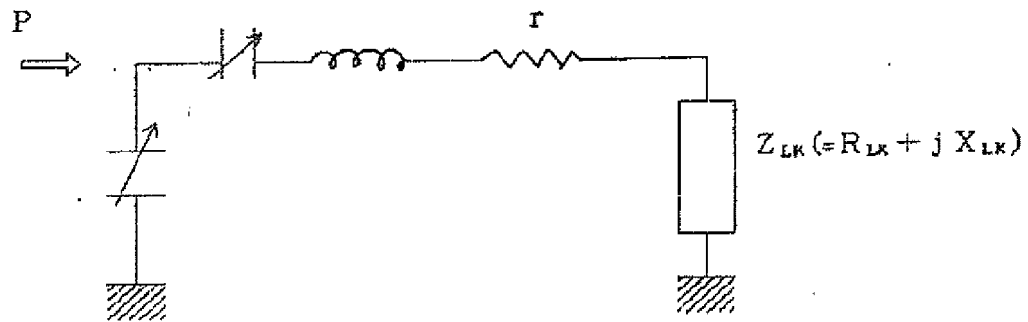


- 10 : プラズマ発生装置
- 20 : 高周波電源
- 30 : 整合回路
- 40 : 同軸線路
- 50 : 同軸線路

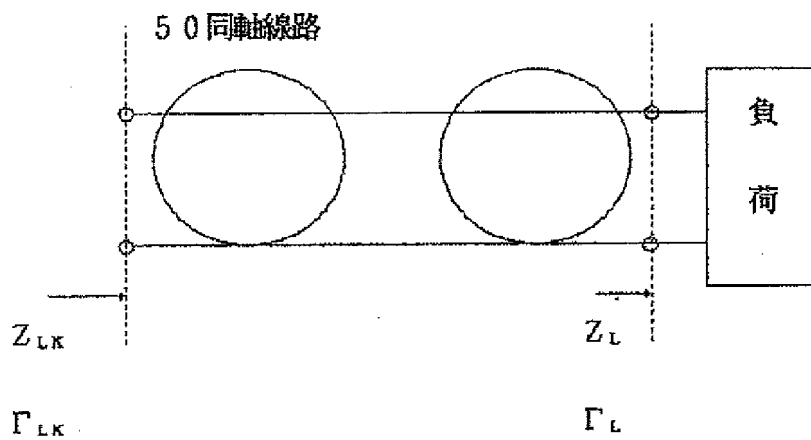
[Drawing 4]



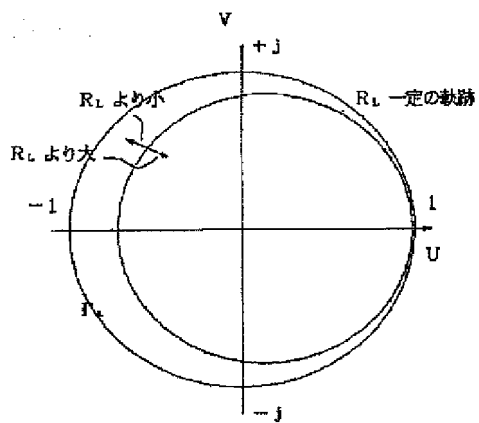
[Drawing 2]



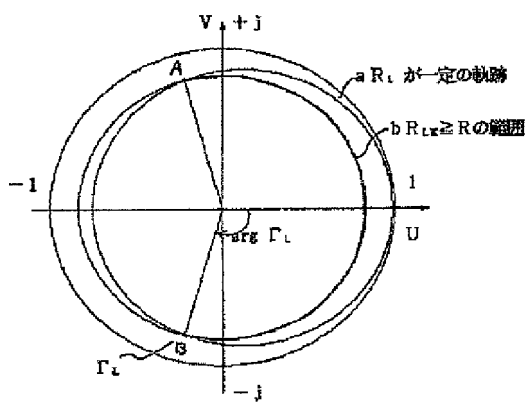
[Drawing 3]



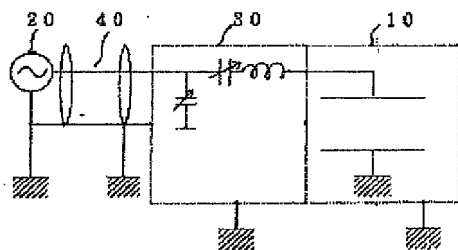
[Drawing 5]



[Drawing 6]

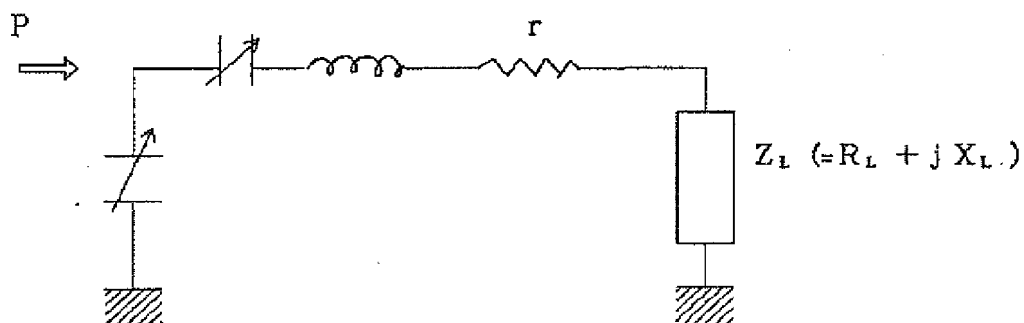


[Drawing 7]

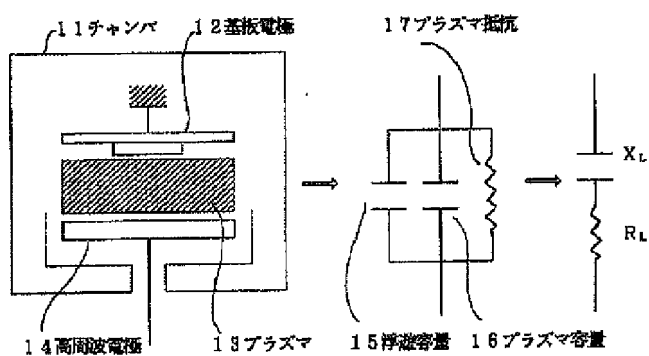


- 10: プラズマ発生装置
- 20: 高周波電源
- 80: 整合装置
- 40: 同軸線路

[Drawing 8]



[Drawing 9]



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-326409

(43)公開日 平成5年(1993)12月10日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 21/205

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1(全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-132438

(22)出願日 平成4年(1992)5月25日

(71)出願人 000001993

株式会社島津製作所

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地

(72)発明者 小崎 純一郎

神奈川県秦野市堀山下字松葉380-1 株

式会社島津製作所秦野工場内

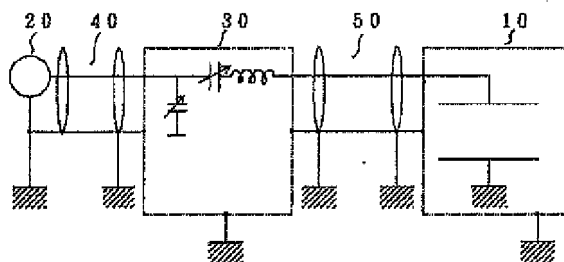
(74)代理人 弁理士 塩野入 章夫

(54)【発明の名称】 成膜装置

(57)【要約】

【目的】 プラズマ成膜装置の整合回路における電力損失を低減し、プラズマ装置へ効率よく電力供給する。

【構成】 高周波電力を供給する高周波電源20と、プラズマ発生装置10と、前記高周波電源20と前記プラズマ発生装置10との間に設けられる整合回路30とからなる成膜装置において、前記整合回路30と前記プラズマ発生装置10との間に前記整合回路30からみた前記プラズマ発生装置10側の入力インピーダンスの抵抗分を増大させる長さの同軸線路50を接続したものである。



10: プラズマ発生装置

20: 高周波電源

30: 整合回路

40: 同軸線路

50: 同軸線路



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 高周波電力を供給する高周波電源と、(b) プラズマ発生装置と、(c) 前記高周波電源と前記プラズマ発生装置との間に設けられる整合回路からなる成膜装置において、(d) 前記整合回路と前記プラズマ発生装置との間に前記整合回路からみた前記プラズマ発生装置側の入力インピーダンスの抵抗分を増大させる長さの同軸線路を接続したことを特徴とする成膜装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、プラズマ成膜装置などにおける成膜手段であるプラズマ発生装置などに、高周波電源から高周波電力を効率よく供給するための整合回路を有する成膜装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、高周波電源からプラズマ成膜装置などにおける成膜手段であるプラズマ発生装置などへ高周波電力の供給するには、高周波電源とプラズマ発生装置との間に整合回路を介して行っている。図7は従来のプラズマ成膜装置への高周波電力の供給回路図である。

【0003】 図において、10はプラズマ発生装置、20は高周波電源、30は整合回路、40は同軸線路である。前記同軸線路40の特性インピーダンスの値は高周波電源20の出力インピーダンス値と同じ大きさに設定して該高周波電源20との整合をとりながら整合回路30に接続されている。さらに、前記整合回路30はプラズマ発生装置10と接続されている。

【0004】 前記の構成によって、高周波電源20からの高周波電力は同軸線路40及び整合回路30を介してプラズマ発生装置に供給される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、前記従来のプラズマ成膜装置においては、以下のような問題点がある。プラズマ発生装置の抵抗成分は一般に数 $\Omega$ 程度の低抵抗値であるため、前記従来装置による高周波電力の供給においては、整合時に整合回路30内の各素子及び線路に大電流が流れる。そのため、整合回路30の各素子の抵抗成分、及び線路の有する抵抗成分によってジュール熱が発生する。この抵抗成分によって発生するジュール熱は、高周波電源20からプラズマ発生装置10へ供給されるべき電力に対して無視できない量であり、プラズマ発生装置10において利用されることなく無駄に消費されることとなる。

【0006】 前記の整合回路30における電力消費について説明する。図8は従来のプラズマ発生装置と整合回路の等価回路図であり、図9はプラズマ発生装置の概略図である。図9において、11はチャンバ、12は基板電極、13はプラズマ、14は高周波電極、15は浮遊容量、16はプラズマ容量、17はプラズマ抵抗であ

2

り、プラズマ発生装置は抵抗分 $R_L$ とリアクタンス分 $X_L$ のインピーダンスとして等価的に表される。また、図8において、 $Z_L (= R_L + j X_L)$ はプラズマ発生装置10のインピーダンスであり、 $r$ は整合回路30の素子及び線路40の抵抗値の合計である。前記インピーダンス $Z_L$ は、プラズマ自体のインピーダンスとプラズマ発生装置10の有する浮遊容量の合成値である。一般にインピーダンス $Z_L$ の実部 $R_L$ の抵抗成分は数 $\Omega$ 程度の低抵抗値であり、またインピーダンス $Z_L$ の虚部 $X_L$ は負値となり容量性のリアクタンスである。

【0007】 前記の等価回路において、整合状態において高周波電源20から高周波電力 $P$ を供給したときには、プラズマ発生装置10のインピーダンスの抵抗成分は数 $\Omega$ 程度の低抵抗値であるため大電流が流れる。このときの整合回路における電力消費は $P \cdot r / (r + R_L)$ で表され、プラズマ発生装置10のインピーダンスの抵抗成分 $R_L$ の値が小さいほど供給された電力 $P$ の中で熱として放出され電力損失の量は大きくなる。

【0008】 本発明は、前記従来のプラズマ成膜装置の整合回路における電力損失を低減し、プラズマ装置へ効率よく電力供給することを目的とする。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明は、上記の問題点を克服するために、従来装置のプラズマ発生装置と整合回路の間に同軸線路を追加するものであり、高周波電力を供給する高周波電源と、プラズマ発生装置と、前記高周波電源と前記プラズマ発生装置との間に設けられる整合回路とからなる成膜装置において、前記整合回路と前記プラズマ発生装置との間に前記整合回路からみた前記プラズマ発生装置側の入力インピーダンスの抵抗分を増大させる長さの同軸線路を接続したものである。

## 【0010】

【作用】 本発明によれば、整合回路とプラズマ発生装置との間に同軸線路を接続するだけで、従来のプラズマ成膜装置の整合回路における電力損失を低減することができ、プラズマ発生装置へ効率よく電力供給することができる。

## 【0011】

【実施例】 以下、本発明の実施例について図を参照しながら詳細に説明する。図1は本発明の実施例に係わるプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路図であり、図2は本発明の実施例に係わるプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路図の等価回路図である。

【0012】 図において、10はプラズマ発生装置、20は高周波電源、30は整合回路、40は同軸線路、50は同軸線路である。前記プラズマ発生装置10、高周波電源20、整合回路30、及び同軸線路40は従来のプラズマ発生装置10への高周波電力の供給回路と同様であり、前記同軸線路40の特性インピーダンスの値は高周波電源20の出力インピーダンス値と同じ大きさに

3

設定され整合回路30に接続されている。さらに、前記整合回路30はプラズマ発生装置10と接続されている。

【0013】本発明の成膜装置のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路は、前記従来の供給回路においてプラズマ発生装置10と整合回路30との間に同軸線路50を接続したものである。ここで、前記同軸線路50を特性インピーダンスが $Z_0$ とし、その線路長 $l$ を高周波電源20の波長 $\lambda$ の $k$ 倍の $k\lambda$ とする。また同軸線路50を挿入しない従来の場合を指標 $L$ で表し、同軸線路50を挿入する本発明の場合を指標 $K$ で表すとする。

【0014】図2において、インピーダンス $Z_{LK}$ は、前記の特性インピーダンスが $Z_0$ で線路長 $l$ の同軸線路50をプラズマ発生装置10と整合回路30との間に挿入したときの整合回路30から見たインピーダンスであり、 $Z_{LK} (\equiv R_{LK} + jX_{LK})$ で表される。また、インピーダンス $Z_L$ は、プラズマ自体のインピーダンスとプラズマ発生装置10の有する浮遊容量の合成値である。一般にインピーダンス $Z_L$ の実部 $R_L$ の抵抗成分は数 $\Omega$ 程度の低抵抗値であり、またインピーダンス $Z_L$ の虚部 $X_L$ は負値となり容量性のリアクタンスである。

【0015】ここで、整合回路30からプラズマ発生装置10側を見たときのインピーダンスを、本発明の成膜装置のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路と従来のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路とで比較する。図3はプラズマ発生装置側への入力インピーダンスの比較図である。図において、負荷はプラズマ発生装置10であり、破線で区切られた部分は特性インピーダンスが $Z_0$ で高周波電源20の波長 $\lambda$ としたときの $k$ 倍の $k\lambda$ をその線路長 $l$ とする同軸線路50である。本発明の成膜装置のプラズマ発生装置の整合回路30から見た入力インピーダンスは $Z_{LK}$ であり、従来のプラズマ発生装置の整合回路30から見た入力インピーダンスは $Z_L$ である。

【0016】次に、前記本発明の成膜装置のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路による整合回路30に

$$Z_{LK} = Z_0 \frac{(Z_L + jZ_0 \tan(2\pi k))}{(Z_0 + jZ_L \tan(2\pi k))} \quad \dots (1)$$

また、複素インピーダンス $Z (\equiv R + jX)$ と一対一に (2) によって与えられる。

対応する量である反射係数 $\Gamma (\equiv U + jV)$ は次式 40 【0021】

$$\Gamma_L = (Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0) \quad \dots (2)$$

ここで、同軸線路50を挿入しない従来の場合の指標 $L$ と同軸線路50を挿入する本発明の場合の指標 $K$ の間

$$\Gamma_{LK} = \Gamma_L \exp(-j4\pi k) \quad \dots (3)$$

前記式(3)から明らかなように以下の式(4)、

(5)の関係がある。

$$|\Gamma_{LK}| = |\Gamma_L| \quad \dots (4)$$

$$\arg \Gamma_{LK} = \arg \Gamma_L - 4\pi k \quad \dots (5)$$

図4は前記の式(4)、(5)の関係をプロットしたスミスチャートである。図において、反射係数 $\Gamma_L$ はUV

4

における電力消費について図2によって説明する。図2の等価回路において、整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK} (\equiv R_{LK} + jX_{LK})$ であり、 $r$ は整合回路30の素子及び線路40の抵抗値の合計である。

【0017】前記の等価回路において、整合状態において高周波電源20から高周波電力 $P$ を供給したときには、整合回路の素子及び線路40の抵抗値の合計 $r$ による電力消費は $P \cdot r / (r + R_{LK})$ で表される。前記電力消費は整合回路の素子及び線路40の抵抗値の合計 $r$ 及び整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK}$ の抵抗分 $R_{LK}$ に依存する。

【0018】前記整合回路の素子及び線路40の抵抗値の合計 $r$ の値は該素子によって定まるのに対して、整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK}$ の抵抗分 $R_{LK}$ はプラズマ発生装置と同軸線路50によって決定する。そこで、本発明の成膜装置のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路においては、前記同軸線路50によって整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK}$ の抵抗分 $R_{LK}$ を従来のプラズマ発生装置のインピーダンス $Z_L$ の抵抗分 $R_L$ よりも大きくすることによって整合回路30における電力消費の量を小さくするものである。

【0019】次に、前記整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK}$ の抵抗分 $R_{LK}$ を従来のプラズマ発生装置のインピーダンス $Z_L$ の抵抗分 $R_L$ よりも大きくするための同軸線路50の条件について説明する。始めに、プラズマ発生装置のインピーダンスである負荷 $Z_L$ と、該負荷 $Z_L$ に特性インピーダンスが $Z_0$ でその線路長 $l$ が電源の波長 $\lambda$ の $k$ 倍の $k\lambda$ である長さの同軸線路を接続したときの整合回路30から見たインピーダンス $Z_{LK}$ との関係を説明する。

【0020】図4は、複素インピーダンスのスミスチャートである。前記インピーダンス $Z_L$ 及び $Z_{LK}$ は、一般に複素インピーダンスとして扱われる。まず、図において複素インピーダンスの一般的関係を説明する。複素インピーダンス $Z_L$ と $Z_{LK}$ の関係は次式(1)によって与えられる。

係を、前記反射係数 $\Gamma$ によって表すと前記の式(1)と式(2)によって次式(3)となる。

【0022】

座標上で中心からの距離 $|\Gamma_L|$ が $|(Z_L - Z_0) / (Z_L + Z_0)|$ で、角度 $\arg \Gamma_L$ が $\arg \{(Z_L$

5

$-Z_0) / (Z_L + Z_0)$  の位置として表さる。一方、反射係数  $\Gamma_{LK}$  は UV 座標上で中心からの距離  $|\Gamma_{LK}|$  が  $|\Gamma_L|$  と同じで、角度  $\arg \Gamma_{LK}$  が角度  $\arg \Gamma_L$  から  $\pi$  の  $4k$  倍の  $4\pi k$  ラジアン戻った位置にある。

$$\begin{aligned} & \{U - \{R_L / (R_L + Z_0)\}\}^2 + V^2 \\ & = \{Z_0 / (R_L + Z_0)\}^2 \quad \dots (6) \end{aligned}$$

図5は抵抗分が一定のスミスチャートである。

【0024】図において、式(6)の軌跡内においては  $R > R_L$  であり、一方式(6)の軌跡外においては  $R < R_L$  である。前記複素インピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分である  $R_L$  は一般にプラズマ発生装置10によって定まり、プラズマ発生装置10の大きさや形状等が変わらなければほぼ一定とすることができる。したがって、図5における  $R_L$  が一定の軌跡上の点は、プラズマ発生装置10のインピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分が同じでリアクタンス分の異なるものである。

【0025】また、図において整合回路30から見たインピーダンスの抵抗成分が  $R_L$  より小さくなる範囲においては、前記整合回路30における電力消費はインピーダンスの抵抗成分が  $R_L$  のものと比較して大きくなる。一方、抵抗成分  $R_L$  より大きくなる範囲においては、前記整合回路30における電力消費はインピーダンスの抵抗成分が  $R_L$  のものと比較して小さくなる。

【0026】本発明の成膜装置のプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路においては、前記整合回路30から見たインピーダンスの抵抗成分  $R_L$  より大きくなるよ

$$\begin{aligned} 1/2 \geq k \geq 1/2 - |\arg \Gamma_L| / 2\pi & \quad (X_L < 0 \text{ の場合}) \\ |\arg \Gamma_L| / 2\pi \geq k \geq 0 & \quad (X_L \geq 0 \text{ の場合}) \end{aligned} \quad \dots (7)$$

ここで、前記  $\arg \Gamma_L$  は式(2)より次式によって与えられる。

$$\begin{aligned} \arg \Gamma_L &= \arctan \{2Z_0 X_L / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\} \\ & \quad (|Z_L| > Z_0 \text{ の場合}) \\ \arg \Gamma_L &= \arctan \{2Z_0 X_L / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\} - \pi \\ & \quad (|Z_L| < Z_0, X_L < 0 \text{ の場合}) \\ \arg \Gamma_L &= \arctan \{2Z_0 X_L / (|Z_L|^2 - Z_0^2)\} + \pi \\ & \quad (|Z_L| < Z_0, X_L > 0 \text{ の場合}) \end{aligned} \quad \dots (8)$$

したがって、プラズマ発生装置のインピーダンス  $Z_L$  と該インピーダンス  $Z_L$  に線路長が波長  $\lambda$  の  $k$  倍で特性インピーダンスが  $Z_0$  の同軸線路50とを接続した場合のインピーダンス  $Z_{LK}$  において、インピーダンス  $Z_{LK}$  の抵抗分  $R_{LK}$  がインピーダンス  $Z_L$  の抵抗分  $R$  となる  $k$  の範囲は前記式(7)によって定められる。

【0030】前記  $k$  は同軸線路50の線路長  $l$  を波長  $\lambda$  で除したものである。同一のプラズマ発生装置10を使用する場合には電源の波長に応じて同軸線路50の線路長  $l$  を変更することによって、整合回路30における消費電力を減少させることができる。次に、プラズマ発生装置の一例について具体的な数値比較を行う。

6

【0023】また、複素インピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分である  $R_L$  が一定の軌跡を UV 座標のスミスチャート上で表すと、次式(6)で与えられる。

うな同軸線路50を整合回路30とプラズマ発生装置10との間に接続するものである。次に、前記同軸線路50を接続したときのインピーダンス  $Z_{LK}$  の抵抗成分  $R_{LK}$  が同軸線路50を接続しないときのインピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分  $R_L$  より大きくなる場合の  $k$  の範囲について説明する。

【0027】前記  $k$  の範囲は前記式(4)、(5)及び(6)、または図6によって求めることができる。図6は同軸線路50の接続の相違に係わるインピーダンスの抵抗成分の関係図である。図において、インピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分  $R_L$  が一定の軌跡  $a$  とインピーダンス  $Z_L$  に波長  $\lambda$  の  $k$  倍の長さを有する同軸線路を接続したときのインピーダンス  $Z_{LK}$  の軌跡  $b$  は、点A及び点Bにおいて交差する。ここで、インピーダンス  $Z_{LK}$  の抵抗成分  $R_{LK}$  がインピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分  $R_L$  より大きくなる範囲は、図5からインピーダンス  $Z_L$  の抵抗成分  $R_L$  が一定の軌跡  $a$  の内側であるので図の太線の部分となる。

【0028】前記の関係を式で表すと以下の式となる。 $R_{LK} \geq R_L$  である  $k$  の範囲：

$$\begin{aligned} 1/2 \geq k \geq 1/2 - |\arg \Gamma_L| / 2\pi & \quad (X_L < 0 \text{ の場合}) \\ |\arg \Gamma_L| / 2\pi \geq k \geq 0 & \quad (X_L \geq 0 \text{ の場合}) \end{aligned} \quad \dots (7)$$

【0029】

【0031】プラズマ発生装置の各種数値を以下のものとする。

プラズマ発生装置10のインピーダンス： $R_L = 2\Omega$ ,  $X_L = -10\Omega$   
整合回路30の抵抗値： $r = 1\Omega$   
同軸線路50の特性インピーダンス： $Z_0 = 50\Omega$   
波長(周波数)： $\lambda = 3m$   
( $f = 100MHz$ )

前記式(7)及び式(8)から  $R_{LK} \geq R_L$  である  $k$  の範囲は、

$$0.063 \leq k \leq 0.5$$

である。ここで、 $k$  の値として前記範囲内の0.187

7

5とすると同軸線路の線路長 $l$ は、0.5625mとなる。

【0032】前記値を式(1)に代入することによってインピーダンス $Z_{LK}$ は、

$$R_{LK} = 6.185 \Omega$$

$$X_{LK} = +74.258 \Omega$$

となる。したがって、整合回路30における電力損失比 $(r + R_L) / (r + R_{LK})$ は

$$(1 + 2) / (1 + 6.185) = 0.42$$

となる。この値は、本発明の成膜装置においては、整合回路30における電力損失を従来のプラズマ発生装置の42%に低減できることを示している。

【0033】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、それらを本発明の範囲から排除するものではない。

#### 【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、整合回路とプラズマ発生装置との間に同軸線路を接続することによって以下の効果を奏することができる。

(1) 従来のプラズマ成膜装置の整合回路における電力損失を低減することができる。

(2) したがって、プラズマ発生装置へ効率よく電力供

8

給することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例に係わるプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路図である。

【図2】本発明の実施例に係わるプラズマ発生装置への高周波電力の供給回路図の等価回路図である。

【図3】プラズマ発生装置側への入力インピーダンスの比較図である。

【図4】複素インピーダンスのスミスチャートである。

【図5】抵抗分が一定のスミスチャートである。

【図6】同軸線路50の接続の相違に係わるインピーダンスの抵抗成分の関係図である。

【図7】従来のプラズマ成膜装置への高周波電力の供給回路図である。

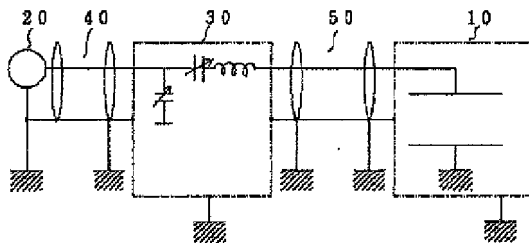
【図8】従来のプラズマ発生装置と整合回路の等価回路図である。

【図9】プラズマ発生装置の概略図である。

【符号の説明】

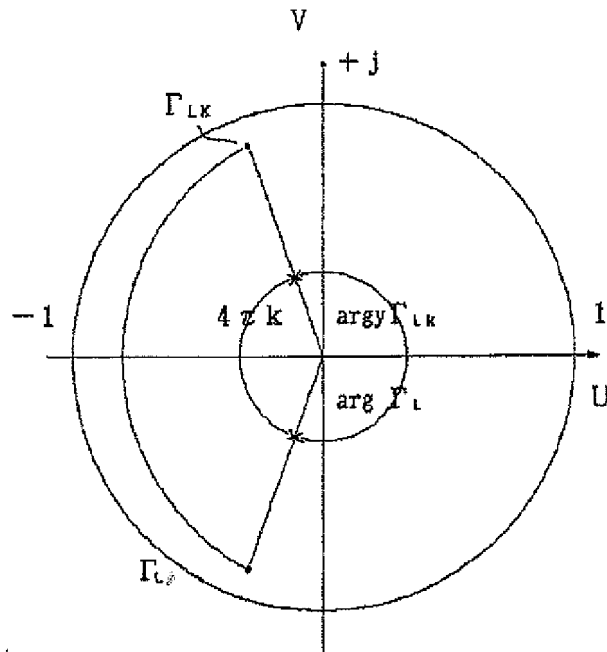
10…プラズマ発生装置、11…チャンバ、12…基板電極、13…プラズマ、14…高周波電極、15…浮遊容量、16…プラズマ容量、17…プラズマ抵抗、20…高周波電源、30…整合回路、40、50…同軸線路

【図1】

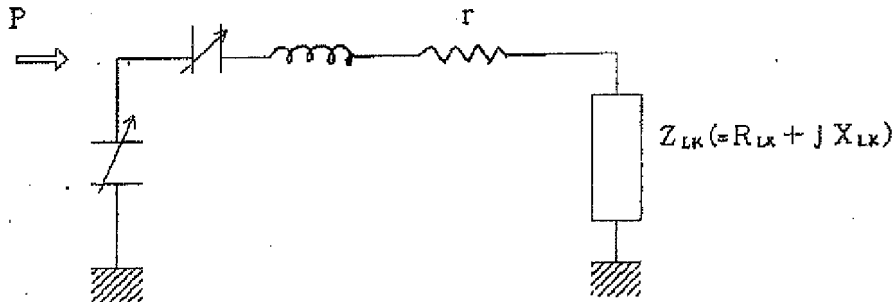


- 10: プラズマ発生装置
- 20: 高周波電源
- 30: 整合回路
- 40: 同軸線路
- 50: 同軸線路

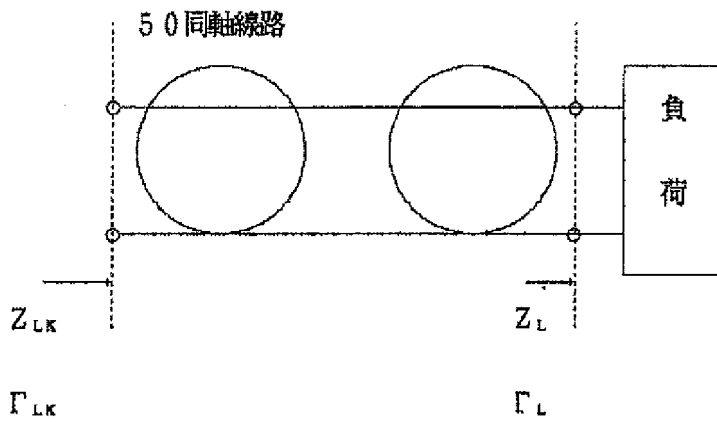
【図4】



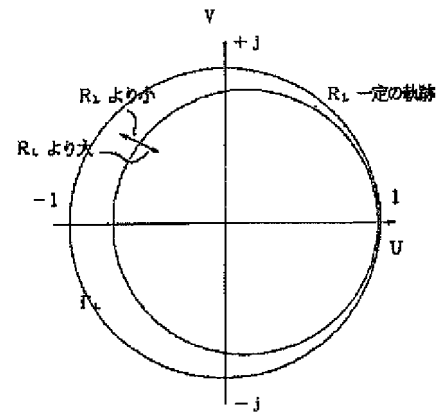
【図2】



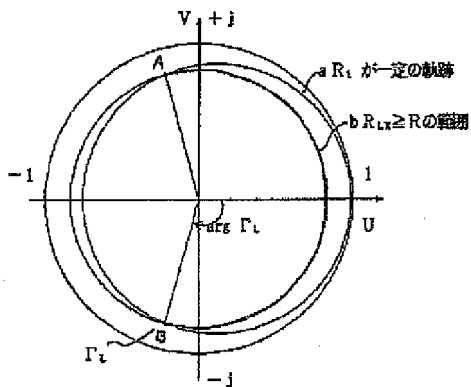
【図3】



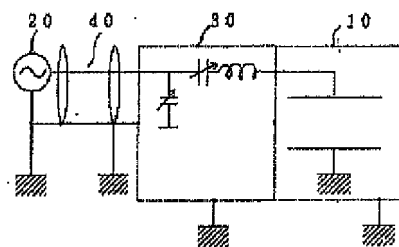
【図5】



【図6】

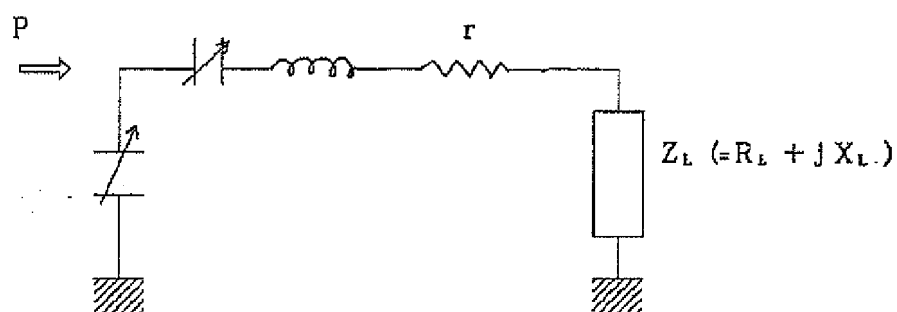


【図7】



- 10: プラズマ発生装置
- 20: 高周波電源
- 30: 整合装置
- 40: 同軸線路

【図8】



【図9】

